

ISSN: 2086-9045

Inersia

Jurnal Teknik Sipil

Artikel

*The Effect of "Pandan Pantai" Leaf Fiber Addition
To Concrete Strength*
Mawardi

*Deliniasi DAS Berbasis Sistem Informasi Geografis
dalam Rangka Mendukung Pengelolaan DAS Terpadu*
Gusta Gunawan

*Studi Proses Geomorfologi Dengan Pendekatan Analisis
Ukuran Butir Sedimen (Studi Kasus Proses Sedimentasi
Muara Sungai Banyuasin Sumatera Selatan)*
Rena Misliniyati

*Strut And Tie Model Sebagai Alternatif
Perancangan Struktur Beton Bertulang*
Yuzuar Afrizal

Pengaruh Hutan Bakau Terhadap Sedimentasi
Besperi

*Pengaruh Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat
Lentur Beton Dengan Faktor Air Semen 0,5*
Elhusna, Fepy Supriani,
Agustin Gunawan, Mukhlis Islam

**Fakultas Teknik
Universitas Bengkulu**

Vol. 3 No. 1 Oktober 2011



JURNAL TEKNIK SIPIL INERSIA

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS BENGKULU**

DAFTAR ISI :

<i>The Effect of “Pandan Pantai” Leaf Fiber Addition To Concrete Strength (Mawardi)</i>	1 – 6
<i>Deliniasi DAS Berbasis Sistem Informasi Geografis dalam Rangka Mendukung Pengelolaan DASTerpadu (Gusta Gunawan)</i>	7 – 15
<i>Studi Proses Geomorfologi Dengan Pendekatan Analisis Ukuran Butir Sedimen (Studi Kasus Proses Sedimentasi Muara Sungai Banyuasin Sumatera Selatan) Rena Misliniyati</i>	17 – 23
<i>Strut And Tie Model Sebagai Alternatif Perancangan Struktur Beton Bertulang (Yuzuar Afrizal)</i>	25 – 31
<i>Pengaruh Hutan Bakau Terhadap Sedimentasi (Besperi)</i>	33 – 38
<i>Pengaruh Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tarik dan Lentur Beton Dengan Faktor Air Semen 0,5 (Elhusna, Fepy Supriani, Agustin Gunawan, Mukhlis Islam)</i>	39 – 44

STRUT and TIE MODEL SEBAGAI ALTERNATIF PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG

Yuzuar Afrizal

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bengkulu
Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp (0736)344087, Ext.337

E-mail: yuzuar_s2ts03@yahoo.com

Abstract

Design of concrete structures according to the applicable standard is to use the principle of the planning section of the load moment based on the principles of Bernoulli and Navier. Considered linear strain distribution and is considered still valid even though cross-section has been cracked and the planning section of the burden of a separate shear forces with the principle of $V_c + V_s$. The number of cases for the structural elements that have a fairly complicated shape will cause a problem in its design. This happens to the elements-structural elements such as a high beam, corbel, beams with fairly abrupt changes in the dimensions, etc. This is evident from the occurrence of non-linear strain distribution so that it can no longer be planned in a standard way. Planning is done sometimes only by approach with the regulations-regulations to existing standards, although sometimes there is a significant difference, one alternative approach to deal with is using Strut and Tie Model approach.

Keywords : *Bernoulli's principle and Navier, Strut and Tie Model, D-Region, Region B-*

1. PENDAHULUAN

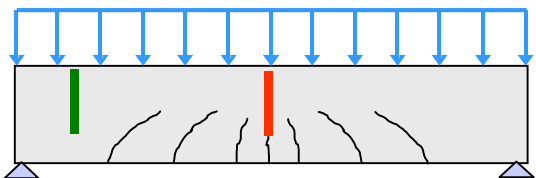
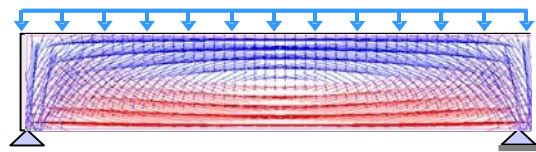
Strut and Tie method (STM) merupakan sebuah metode yang sedang berkembang akhir-akhir ini di dunia teknik sipil. Dunia perencana mulai dari praktisi hingga akademis mulai melirik penggunaan dari metode ini, disamping karena teori yang mendasari STM ini sudah dikenal sejak lama yaitu metode rangkai batang dan kepraktisan yang menjadi pertimbangan faktor lainnya.

Strut-and-tie model adalah sebuah model struktur rangkai dari suatu elemen struktural atau dari sebuah *D-Region* dalam elemen tersebut, yang terdiri dari batang-batang desak dan batang-batang tarik yang terhubung pada titik-titik nodal, dan yang mampu meneruskan beban-beban antar faktor ketitik-titik tumpuan atau ke *B-Region* di dekatnya (ACI 318-02 App. A).

Dalam penyelesaian dari STM ini tidak hanya berupa satu hasil akhir yang selanjutnya bagi masing-masing perencana, melainkan memberikan hasil yang unik dimana berarti hasil desain yang diperoleh dapat saja berbeda antara perencana satu dengan perencana lainnya. Hanya saja yang membedakan berupa tingkat keefisienan rencana yang ada, baik dari segi perhitungan maupun segi material perkuatannya yang akan digunakan sebagai desain dalam STM tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metoda perencanaan standar yang ada dan biasa digunakan dalam merencanakan suatu balok seperti di atas adalah dengan menggunakan perencanaan penampang terhadap beban moment berdasarkan prinsip-prinsip *Bernoulli* dan *Navier*, sedangkan perencanaan penampang terhadap beban gaya geser dengan prinsip $V_c + V_s$.

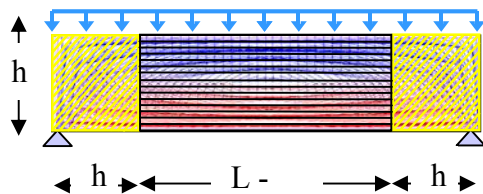


Gambar 1 Balok Sederhana dengan Beban Merata

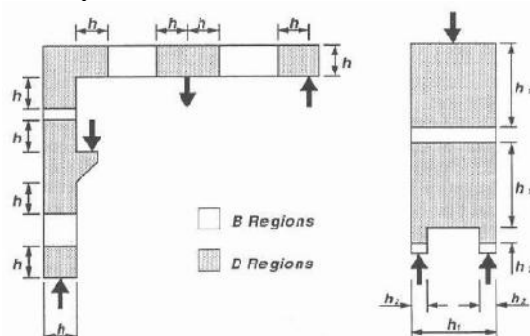
Pada analisis struktur, biasanya digunakan asumsi *Bernoulli* yang menyatakan bahwa penampang tetap datar selama deformasi. Dalam

kenyataannya, pada daerah kerja beban terpusat, tumpuan atau dimana terdapat konsentrasi tegangan yang besar, asumsi kondisi penampang tetap datar pada saat deformasi ini, umumnya tidak berlaku. Penampang struktur terbagi-bagi atas 2 tipe daerah, yakni daerah D dan daerah B.

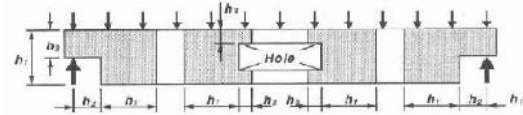
Daerah yang "tidak lagidatar", disebut daerah D (*Disturbed area* atau *Discontinuity*). Pada daerah ini luas D dapat ditentukan dengan *St. Venant's Principle*. Perencanaannya menggunakan Model *Strut and Tie* (STM). Sedangkan daerah dimana berlaku hukum *Bernoulli*, disebut daerah B (*Bending area* atau *Bernoulli*). Pada daerah ini tegangan dapat dicari dengan menggunakan momen lentur. Perencanaannya dapat menggunakan model rangka batang atau juga *Modified Compression Field* (MCF).



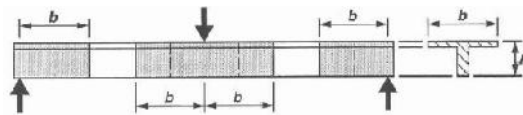
Pada gambar di atas terlihat jelas bahwa untuk daerah balok bentang h dengan ketinggian h merupakan daerah *Disturbed* dimana terjadi distribusi tegangan yang tidak linier dan ini tidak dapat direncanakan seperti perencanaan standar yang biasa digunakan. Prinsip *St. Venant* menyatakan bahwa daerah tidak linier tersebut sejauh ketinggian balok (h) dari letak terjadinya gangguan. Sedangkan bentang sisanya ($L - 2h$) merupakan daerah *Bernoulli*, dimana distribusi tegangan yang terjadi linier dan dapat direncanakan sesuai cara standar yang biasa dipakai.



Gambar3. Daerah B dan D



Gambar4. Daerah B dan D pada Balok dengan Lubang



Gambar5. Daerah B dan D pada balok T dengan Beban Titik

2.1. Konsep Dasar Perencanaan STM

Konsep dasar yang digunakan dalam merencanakan struktur menggunakan *Strut and Tie Model* (STM) ini menggunakan idealisasi bahwa tegangan yang terjadi akan dikonsepsikan kedalam sistem truss yang ada dimana perancangan batang desak (*strut*), batang tarik (*tie*) dan titik nodal (*nodal zone*) dalam STM harus didasarkan pada prinsip kuat batas:

$$\phi F_n \geq F_u \dots \dots \dots (1)$$

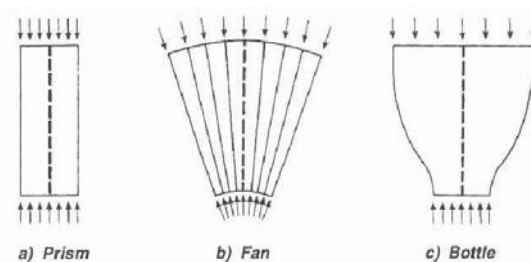
Dengan:

- F_u adalah gaya pada *strut* atau *tie*, atau gaya yang bekerja pada salah satu permukaan titik nodal, yang diakibatkan oleh beban-beban terfaktor.
- F_n adalah kuat nominal dari *strut*, *tie* atau titik nodal
- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan (menurut ACI 318-2002: $\phi = 0,75$).

2.2. Perancangan Batang Desak (*Strut*)

Bentuk-bentuk batang desak (*strut*):

1. *Prismatic Strut*
2. *Fan Strut*
3. *Bottle-shaped Strut*



Three Types of Struts (Adapted from Schlaich et al 1987)

Gambar6. Bentuk Batang Desak

Kuat desak nominal dari batang desak tanpa tulangan memanjang harus diambil diantara nilai terkecil dari pada kedua ujung *struts*:

$$F_{ns} = f_{cu} \cdot A_c \dots \dots \dots (2)$$

Dengan:

- A_c adalah luas penampang lintang pada salah satu ujung *strut*. f_{cu} adalah nilai terkecil dari kuat desak efektif pada *strut* atau pada titik nodal. Kuat desak efektif pada batang desak:

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \dots \dots \dots (3)$$

Dengan:

- $\beta_s = 1,0$ untuk *strut* dengan luas penampang konstant (prismatik)
- $\beta_s = 0,75$ untuk *bottle-shape strut* dengan tulangan melintang terhadap sumbu memanjangnya menurut ACI 318-2002 App. A. 3.3
- $\beta_s = 0,60$ untuk *bottle-shape strut* tanpa tulangan melintang terhadap sumbu memanjangnya menurut ACI 318-2002 App. A. 3.31 adalah faktor untuk memperhatikan penggunaan beton ringan
- $\beta_s = 0,40$ untuk *strut* di dalam batang 2/daerah 2 sayap tarik.
- $\beta_s = 0,60$ untuk kasus lainnya

Jika digunakan nilai $\beta_s = 0,75$ (dengan tulangan) maka harus dipasang baja tulangan melintang *strut* untuk menahan gaya tarik transversal yang terjadi akibat penyebaran (dianggap menyebarkan perbandingan 2 memanjang: 1 melintang) gaya desak pada *strut*.

Untuk meningkatkan kekuatan *strut* dalam menahan gaya desak, dapat ditambahkan tulangan memanjang dalam *strut* tsb. Baja tulangan ini harus dijangkar dengan sempurna, dipasang sejajar dengan sumbu memanjang *strut*, terletak di dalam daerah *strut*, dan jika perlu diberisengkal/bege l di sekeliling tulangan 2 ini.

Untuk kasus ini kuat desak *strut* (bertulangan) adalah:

$$F_{ns} = f_{cu} \cdot A_c + A_s \cdot f_s' \dots \dots \dots (4)$$

Sebagai lebar batang desak (*strut*) w_s yang diperlukan untuk menghitung luas penampang A_c , diambil nilai terkecil tegak lurus pada ujung 2 sumbu memanjang batang desak ybs .

Pada persamaan kuat desak efektif:

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \dots \dots \dots (5)$$

Faktor/koeffisien 0,85 adalah untuk mempertimbangkan pengaruh beban desak jangka panjang (seperti yg digunakan pd standard untuk menghitung kuat nominal penampang).

Faktor β_s adalah faktor konversi blok tegangan empat persegi panjang, seperti yang digunakan pada hitungan lentur untuk balok atau kolom. Jadi faktor 2 yang mempengaruhi kuat desak efektif adalah:

- Pengaruh beban desak jangka panjang
- Retak-retak pada batang desak (retak longitudinal atau diagonal)
- Ikatan (*confinement*) oleh volume bet on di sekeliling batang desak

2.3. Perancangan Batang Tarik (*Tie*)

Kuat tarik nominal batang tarik (*tie*):

$$F_{nt} = A_{st} \cdot f_y + A_{ps} \cdot (f_{se} + \Delta f_p) \dots \dots \dots (6)$$

Dengan:

- A_{st} adalah luas penampang baja tulangan
- A_{ps} adalah luas penampang baja prateg ang
- $(f_{se} + \Delta f_p)$ harus melampaui nilai f_{py}

Sumbu memanjang baja tulangan harus dipasang tepat pada sumbu memanjang batang tarik. Ujung-ujung batang tarik ini harus dijangkar:

- Dengan panjang penjangkaran yang cukup, atau dengan
- Angker mekanik khusus atau angker *post tensioning*,

2.4. Perancangan Titik Nodal

Kuat desak nominal daerah titik nodal:

$$F_{nn} = A_n \cdot f_{cu} \dots \dots \dots (7)$$

Dengan:

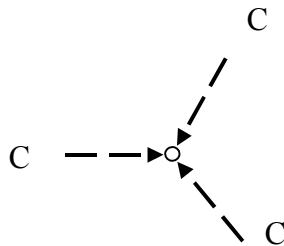
- f_{cu} adalah kuat desak efektif beton di daerah titik nodal
- A_n adalah luas penampang pada titik nodal, tempat gaya F_u bekerja, diambil tegak lurus pada garis kerja F_u .
- Kuat desak efektif beton:
 $f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c' \dots \dots \dots (8)$

Dengan

- $\beta_n = 1,0$ untuk titik nodal yg dikelilingi
- $\beta_n = 0,8$ untuk titik nodal yang mempunyai satu batang tarik
- $\beta_n = 0,6$ untuk titik nodal yang mempunyai dua atau lebih batang tarik

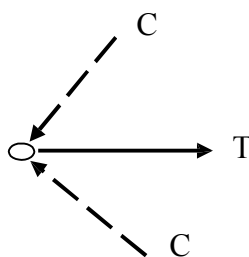
Idealisasi gaya yang terjadi pada nodal:

(1) CCC-Node:



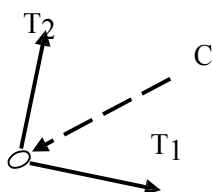
Dengan $\beta_n = 1,0$

(2) CCT-Node:



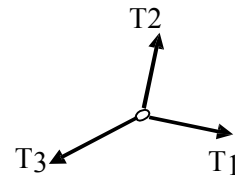
Dengan $\beta_n = 0,8$

(3) CTT-Node:



Dengan $\beta_n = 0,6$

(4) TTT-Node:



3. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis balok dengan elemen *solid Finite Element* (analisis linear statistik):

- Tentukan arah tegangan utama Buat
- Model STM mengikuti pola penyebaran tegangan
- Integrasikan tegangan yang bekerja pada tiap batang
- Disain penampang menurut gaya hasil integrasi tadi

3.1. Metoda Aliran Beban (*Load Path*)

Metode ini lebih sederhana jika dibandingkan dengan cara sebelumnya. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Cari gaya reaksi
2. Bagi beban yang bekerja pada daerah D ke dalam beberapa segmen sebagai berikut:
 - a. Gantikan tegangan dengan resultan gaya
 - b. Untuk beban tidak simetrik gunakan resultan gaya
3. Sediakan *strut* dan *tie* untuk membelokkan arah beban antara beban dan reaksi
4. Lokasi batang tarik harus memperhitungkan selimut beton dan jarak antar tulangan
5. Bila ada beberapa alternatif pola aliran beban, gunakan pola aliran beban yang paling sederhana

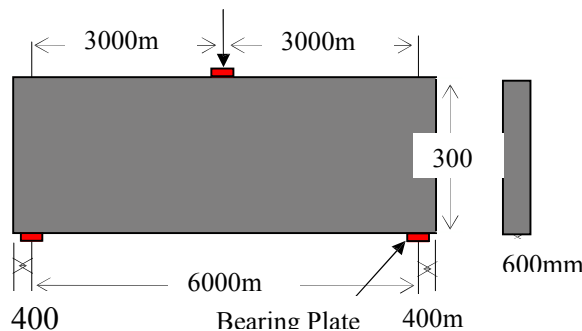
3.2 Model STM yang Sudah ada

Pada suatu struktur, umumnya hanya terdapat beberapa bentuk standar. Karenaitu

dapat dibuat analisis yang mendetail untuk menentukan model standar yang dapat diterapkan pada bentuk yang sama dengan ukuran yang berbeda. Standarisasi ini dapat memudahkan pekerjaan seorang perencana dan menghindari variasi penggunaan model oleh perencana yang berbeda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Disini akan dicontohkan satu uraian perhitungan pada *Deep Beam* dengan beban terpusat seperti dibawah ini:



Diketahui:

PDL = 1000 kN; PLL = 400 kN;
 $f_c = 40 \text{ Mpa}$; $f_y = 400 \text{ Mpa}$
 Hitung kebutuhan tulangan yang diperlukan dengan menggunakan metode STM

Jawab :

Tahapan penyelesaian:

1. Menghitung beban terfaktor
2. Menentukan dimensi *bearing plate*
3. Cek *bearing capacity* pada landasan beban dan reaksi tumpuan
4. Memilih dan menetapkan *strut-and-tie-model* (STM)
5. Menentukan daerah D, perkiraan gaya-gaya, dan dimensi batang
6. Hitungan kebutuhan baja tulangan
7. Cek persyaratan tulangan minimum
8. Gambar penulangan

Uraian tahapan penyelesaian di atas bila diuraikan akan seperti tahapan di bawah ini:

1. Menghitung beban terfaktor:
 $P_u = 1,2 \text{ PDL} + 1,6 \text{ PLL}$
 $= 1,2 \cdot 1000 + 1,6 \cdot 400 = 1840$
 Reaksi Tumpuan $R_u = P_u = 1840 \text{ kN}$
2. Menentukan dimensi *bearing plate*
 Titik nodal dibawah *bearing plate* adalah jenis CCC $\beta_n = 1,0$.
 Kuat desak efektif yang diijinkan

adalah:

$$\begin{aligned} \phi f_{cu} &= 0,75 \cdot (0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c') \\ &= 0,75 \cdot (0,85 \cdot 1,0 \cdot 40) \\ &= 25,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dipilih *bearing plate* ukuran 500mm x 600mm

Luas plat $A_c = 500 \times 600 = 300000 \text{ mm}^2$

Tegangan yang terjadi dibawah *bearing plate*:

$$f_c = 1840000 / (300000) = 6,13$$

$$\text{MPa} < \phi f_{cu}$$

Jadi dimensi *bearing plate* cukup dan dapat digunakan.

3. Cek *Bearing Capacity* pada landasan beban dan reaksi tumpuan:

Bearing strength

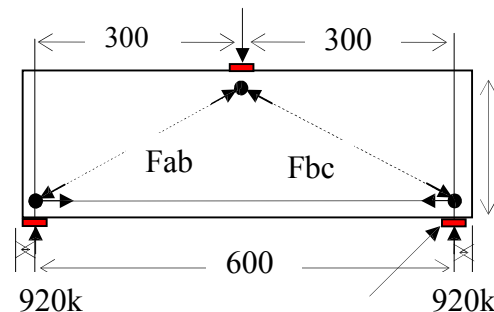
$$\begin{aligned} &= \phi \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot \beta_n \cdot A_c \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 40 / 1000 \cdot 1,0 \cdot (500 \cdot 600) \\ &= 7650 \text{ kN} > P_u = 1840 \text{ kN OK!} \end{aligned}$$

Pada tumpuan:

Bearing strength

$$\begin{aligned} &= \phi \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot \beta_n \cdot A_c \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 40 / 1000 \cdot 0,8 \cdot (500 \cdot 600) \\ &= 6120 \text{ kN} > R_u = 920 \text{ kN OK!} \end{aligned}$$

4. Memilih dan menetapkan STM:



Semua *bearing plate* 500mm x 600mm

5. Menentukan daerah D, perkiraan gaya-gaya dan dimensi batang:

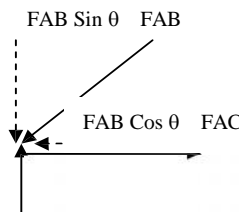
- a. Seluruh wilayah balok tersebut adalah '*disturbed region*' (daerah D), karena simetris cukup ditinjau setengah bentang.

- b.

Posisi horizontal dari titik nodal A dan B mudah untuk ditentukan, yaitu tepat di atas pusat tumpuan dan tepat dibawah

usat beban. Sedangkan posisi vertikalnya harus diperkirakan atau dihitung. Misal diperkirakan titik-titik nodal terletak 250 mm dari tepi balok.

- c. Mencari gaya-gaya batang : Keseimbangan di titik A



$$\theta = \arcsin \left(\frac{Ru}{3000} \right) = 39,806^\circ$$

$$\sum V = 0$$

$$Ru - F_{AB} \sin \theta = 0$$

$$F_{AB} = \frac{Ru}{\sin \theta} = \frac{920}{\sin 39,806} = 1437,073 \text{ kN}$$

$$\sum H = 0$$

$$F_{AC} - F_{AB} \cos \theta = 0$$

$$F_{AC} = F_{AB} \cos \theta = 1437,073 \cos 39,806$$

$$F_{AC} = 1103,983 \text{ kN}$$

- d. Kontrol batang desak:

Tegangan desak efektif:

$$\phi f_{cu} = \phi (0,85 \beta_s f_c')$$

$$= 0,75 (0,85 \cdot 0,640)$$

$$= 15,3 \text{ Mpa}$$

- e. Lebar batang desak/strut:

$$F_{uAB} = 1437,073 \text{ kN}$$

$$Ws = \frac{F_{uAB}}{\phi f_{cu} b} = \frac{1437,073 \cdot 1000}{0,75 \cdot 15,3 \cdot 600}$$

$$= 155,544 \text{ mm}$$

Dipakai $Ws = 150 \text{ mm}$

6. Menghitung kebutuhan baja tulangan:

$$\phi F_{nt} = \phi f_y A_{st} \geq F_{uAC}$$

$$A_{st} = \frac{F_{uAC}}{\phi f_y} = \frac{1103,983 \cdot 1000}{0,75 \cdot 400}$$

$$= 3679,943 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 6 D 30 = 6 x 706,9 = 4241 mm²

Kapasitas batang tarik AC

$$\phi F_{ntAC} = \phi f_y A_{st}$$

$$= 0,75 \cdot 400 / 1000 \cdot 4241,4$$

$$= 1272,42 \text{ kN} > F_u = 1103,983 \text{ kN}$$

Batang tarik harus dijangkarkan cukup kuat

di titik nodal A

$$\phi F_{nnAC} = \phi f_{cu} A_c$$

$$= \phi (0,85 \beta_n f_c') (b \cdot W_t)$$

$$\geq F_{uAC}$$

$$W_t = \frac{F_u}{\phi \cdot 0,85 \beta_n f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{1103,983 \cdot 1000}{0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,640 \cdot 600}$$

$W_t = 90,195 \text{ mm}$

Dipakai $W_t = 100 \text{ mm}$, dimana pusat berat tulangan berada pada $W_t/2 = 50 \text{ mm}$ dari sisi bawah

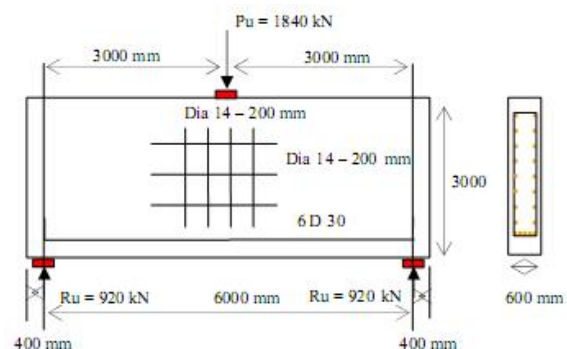
7.

Tulangan minimum dan tulangan untuk *bottle shaped strut* :

Pada arah horizontal dan vertikal dipasang

tulangan diameter 14 mm jarak 200 mm pada masing-masing permukaan.

$$\rho_v = \rho_h = 2 \cdot 153 / (600 - 200) = 0,00$$



26

$$\sin = 0,0026 \sin 39,806$$

$$+ 0,0026 \sin 50,194$$

$$0,0037 \cdot 0,003 \dots \text{Ok}$$

8. Gambar Penulangan

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dalam paper ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Analisis yang didasarkan pada model *Strut and Tie* merupakan metode yang rasional dan akan memberikan penulangan yang

efisien

- b. Untuk mendapatkan perancangan penulangan pada daerah *Distrurb* perlu dibuat pemodelan yang bervariasi untuk mendapatkan penulangan yang paling efisien, ataupun menggunakan bentuk-bentuk standar yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI 318–2002, “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”, ACI, Farmington Hills Mi., 2002
- [2] Hardjasaputra, H. dan Tumilar, S., “*Model Penunjang dan Pengikat Pada Perancangan Struktur Beton*”, Univ. Pelita Harapan Press, 2002
- [3] Sulistyono, D., “*Strut-And-Tie Model Pada Perancangan Struktur Beton*”, Bahan Kuliah Topik Spesial, Struktur, Pasca Sarjana, Gadjah Mada, 2004
- [4] Konstruksi, No. 297- Februari-Maret 2001, “Mega Konstruksi.com”, updated 20 April 2001
- [5] Tjien Tjhin, “*Strut-and-Tie Resource Web Site*”, University of Illinois at Urbana-Champaign Last update: 30, May 2002
- [6] C. C. Fu, “The Strut-And-Tie Model of Concrete Structures”, Presented to The Maryland State Highway Administration, The BEST Center University of Maryland, August 21, 2001.

